

УДК 621.316

**А. Г. Сосков**, докт. техн. наук,  
**Я. Б. Форкун**, канд. техн. наук,  
**Н. О. Сабалаєва**, канд. техн. наук  
 Харківська національна академія  
 міського господарства  
 тел. (057) 707 – 31 – 11

## **ГІБРИДНИЙ ДВОПОЛЮСНИЙ КОНТАКТОР ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

**Вступ.** Гібридні контактори або контактори з бездуговою комутацією поєднують позитивні властивості як контактних апаратів (малі втрати потужності у включеному стані), так і безконтактних (бездугова комутація струму). В цих контакторах паралельно головним контактам підімкнений тиристор, який забезпечує бездугову комутацію контактів, що розмикаються. Його вимикання забезпечується блоком ємнісної примусової комутації. У включеному стані контактора тиристор зашунтований головними контактами.

Метою даного дослідження є удосконалення гібридного контактора постійного струму, обумовлене тим, що відомі гібридні двополюсні контактори постійного струму, які містять основний тиристор, підімкнений паралельно одному з головних контактів, блок ємнісної примусової комутації основного тиристора і блок, що керує тиристорами, через використання неполярного конденсатора як комутуючого конденсатора мають знижену надійність роботи всього пристрою через граничні режими роботи компонентів електронної схеми керування, а також через залежність її роботи від коливань напруги мережі.

**Основна частина.** Пропонований контактор відрізняється від найближчого за технічною сутністю тим, що в нього додатково введений малогабаритний трансформатор струму, який має дві первинні обмотки, перша з яких увімкнена послідовно з першим головним контактом, а друга – послідовно з повністю керованим напівпровідниковим ключем та зустрічно з першою, та одну вторинну обмотку, яка через випрямляючий діод підключена до комутуючого конденсатору, що дозволило спростити схему керування, виключив з неї транзисторний ключ та один контакт, що розмикається, реле струму, а також забезпечило економічний режим роботи елементів електронної схеми, тому що вони перебуватимуть під навантаженням тільки в момент розмикання контактором кола, тобто короткочасно.

Сутність пропонованого гібридного контактора полягає в тому, що введення трансформатора струму дозволило здійснити короткочасний заряд комутуючого конденсатору від струму, що перетікає в коло повністю керованого напівпровідникового ключа, виключив при цьому малонадійний вузол його заряду від напруги мережі, а також забезпечило при цьому надійний економічний режим

роботи елементів електронної схеми та її спрощення, тобто вирішується поставлене завдання. Гібридний двополосний контактор постійного струму, виконаний з використанням IGBT-транзистора, показаний на рис. 1, а з використанням двоопераційного тиристора на рис. 2.

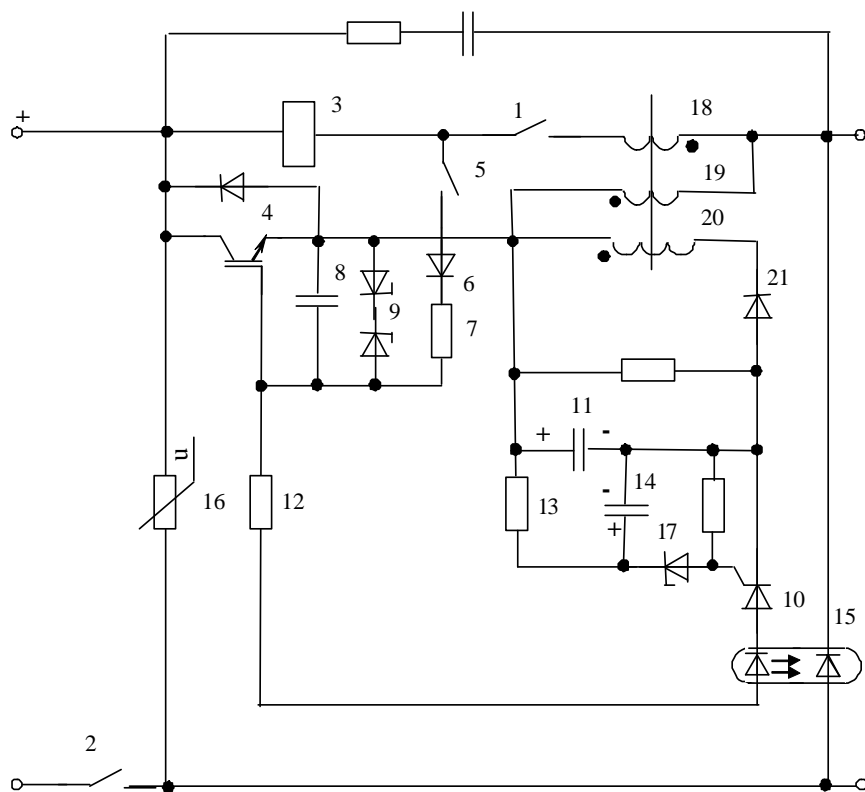


Рис. 1

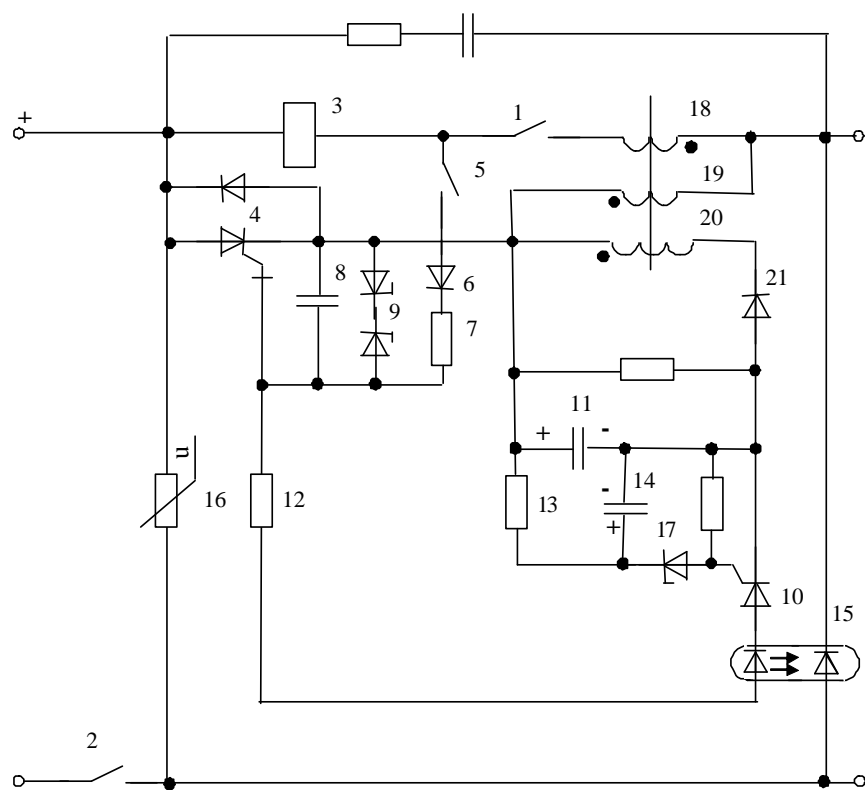


Рис. 2

Гібридний двополосний контактор постійного струму містить у кожному полюсі по одному головному контакту 1 і 2, раствори цих контактів відрегульовані таким чином, що другий головний контакт 2 розмикається пізніше розмикання першого (час затримки 7-9мс), реле струму 3, увімкнене послідовно з першим головним контактом 1, повністю керований напівпровідниковий ключ 4, наприклад, IGBT-транзистор (рис. 1) або двоопераційний тиристор (рис. 2), увімкнутий паралельно реле струму 3 і першому головному контакту 1, при цьому його вхідне коло через замикаючий контакт 5 реле струму 3, діод 6 та резистор 7 підімкнуто паралельно першому головному контакту 1, конденсатор 8 та обмежувач напруги 9, що увімкнені паралельно вхідному колу повністю керованого ключа 4, пристрій примусової комутації, який складається з комутуючого тиристора 10, комутуючого конденсатора 11 та обмежуючого резистора 12, елемент затримки часу, який складається з резистора 13 та конденсатора 14, оптронний тиристор 15, вихідне коло якого увімкнуто між вихідними зажимами контактора, а вхідне - послідовно з комутуючим тиристором 10, обмежувач перенапруг 16, який підімкнутий між вхідним зажимом першого і вихідним зажимом другого полюса контактора та пороговий елемент 17, у контактор додатково введений трансформатор струму, що має дві первинні обмотки 18 і 19 (як правило шини струмопроводу) та одну вторинну обмотку 20, при цьому перша первинна обмотка 18 увімкнена послідовно з першим головним контактом 1, а друга 19 – послідовно з повністю керованим напівпровідниковим ключем 4 та зустрічно з першою, спільні точки цих обмоток підключені до вихідного зажиму першого полюса контактора 1, вторинна же обмотка 20 цього трансформатора через випрямляючий діод 21 підключена до комутуючого конденсатору 11, при цьому вивід конденсатора, до якого безпосередньо підімкнений вивід вторинної обмотки 20 увімкнуто між повністю керованим напівпровідниковим ключем 4 та другою первинною обмоткою 19, а вивід конденсатора, до якого підімкнений випрямляючий діод 21, через комутуючий тиристор 10, вхідне коло оптронного тиристора 15 та обмежуючий резистор 12 увімкнуто до входу повністю керованого напівпровідникового ключа 4, а конденсатор 14 елемента затримки часу через пороговий елемент 17 підключений до входу комутуючого тиристора 10.

На рис. 1 і рис. 2 елементи контактора 1 - 4, 18, 19 утворюють його головне коло, елементи 5 - 9 - коло керування включенням повністю керованим напівпровідниковим ключем 4, а елементи 10 - 15, 20, 21 - коло керування вимиканням повністю керованого напівпровідникового ключа 4. У якості контактів 5 реле струму 3 використано магнітокеровані герметичні контакти (геркони).

У вимкненому стані апарату головні контакти 1 і 2 розімкнені й всі його елементи знеструмлені.

При включенні апарату при замиканні головних контактів 1 і 2 та протіканні струму у головному колі (колі, що містить головні контакти 1 і 2) реле струму 3 спрацьовує і його контакт 5 замикається, а магнітопровід трансформатора струму під впливом струму навантаження, що протікає по первинній обмотці 18, перемагнічується у бік від'ємної індукції до насиченого стану. У цьому стані, коли головний контакт 1 замкнений, повністю керований напівпровідниковий ключ 4 знеструмлений, оскільки значення падіння напруги на замкнених головних контактах 1 у всьому діапазоні робочих струмів контактора не перевищує 0,5 В, тобто керуючий сигнал на включення повністю керованого напівпровідникового ключа 4 відсутній.

При вимиканні апарату при розмиканні головного контакту 1 на ньому виникає коротка дуга, внаслідок чого відбувається різке зростання падіння напруги на ньому, під дією якої через резистор 7 і діод 6 відбувається включення повністю керованого

напівпровідникового ключа 4, внаслідок чого він переходить у повністю включений стан.

Струм з кола головного контакту 1, реле струму 3 та обмотки 18 переходить у коло повністю керованого напівпровідникового ключа 4. При повному перетіканні струму з кола головного контакту 1 реле струму 3 вимикається, його контакт 5 розмикається і коло керування повністю керованим ключем 4 знеструмлюється. При цьому магнітопровід трансформатору струму під впливом струму, що протікає по другій первинній обмотці 19, починає перемагнічуватися в протилежному напрямку, а на вторинній обмотці цього трансформатору наводиться ЕРС, полярність якої є такою, що відпирає випрямляючий діод 21, і комутуючий конденсатор 11 починає заряджатися. Параметри трансформатору струму вибираються таким чином, щоб при найбільшому струмі, який відключається, комутуючий конденсатор 11 за час переходу трансформатора струму у насичений стан встигав зарядитися до напруги, що є достатньою для забезпечення надійного запирання ключа 4. При цьому слід відзначити, що величина напруги, до якої зарядиться комутуючий конденсатор 11, буде знижуватися при зменшенні величини струму, що відключається, приблизно пропорційно кореневі квадратному від цього струму, що в свою чергу підвищує надійність роботи контактора.

Максимальне пряме падіння напруги на відкритому повністю керованому напівпровідниковому ключі 4 не більше 1,5 - 3,5 В, що є недостатнім для виникнення дуги на головному контакті 1. Слід зазначити, що в момент переходу струму з кола головних контактів через наявність індуктивності у контурі комутації (головні контакти разом з повністю керованим напівпровідниковим ключем) виникає коротка дуга, однак цей процес через мале значення вказаної індуктивності триває кілька десятків мікросекунд і тому не завдає суттєвого впливу на комутаційну зносостійкість головних контактів.

При горінні короткої дуги на головному контакті 1 контакт 5 реле струму 3 залишається замкненим і розмикається тільки після повного перетікання комутуємого струму з головного кола у шунтуюче коло (коло повністю керованого напівпровідникового ключа 4). Тривалість протікання струму навантаження через повністю керований напівпровідниковий ключ 4 забезпечується елементом затримки часу і становить близько 3 мс, що цілком достатньо для розмикання головного контакту 1 на відстань, що є безпечною для електричного пробоя контактної проміжки. Головний контакт 2 при цьому ще залишається замкненим.

Для підтримання у відкритому стані IGBT-транзистора (рис. 1) на цей час застосовується додатково введений конденсатор 8, увімкнений паралельно вхідному колу повністю керованого напівпровідникового ключа 4. Напруги, до якої заряджений цей конденсатор у проміжок часу, коли на головному контакті 1 існує коротка дуга, достатньо для підтримання повністю керованого напівпровідникового ключа 4 у ввімкненому стані протягом вищезазначених 3 мс. Діод 6 не дозволяє розрядитися конденсатору 8 через резистор 7 і відкриває повністю керований напівпровідниковий ключ 4 у цей проміжок часу. Без цього конденсатора IGBT-транзистор працював би в активному режимі і на ньому виділялась би значна потужність. На відміну від IGBT-транзистора двоопераційний тиристор, що застосовано у якості повністю керованого напівпровідникового ключа 4 (рис. 2), після отримання керуючого сигналу на ввімкнення автоматично залишається у повністю відкритому стані.

Повне вимикання комутуємого кола відбувається після повного перетікання струму з головного кола у шунтуюче і розмикання головного контакту 1 на відстань, безпечну для електричного пробоя контактної проміжки, після чого повністю керований напівпровідниковий ключ 4 розмикається. Оскільки головний контакт 2 відрегульовані таким чином, що його розмикання відбудеться через 7 — 9 мс пізніше

розмикання головного контакту 1, він розмикається без дуги. Після розмикання головного контакту 2 буде забезпечено гальванічну розв'язку мережі та навантаження, а контактор буде повністю знеструмлений.

Час перетікання струму з кола головного контакту 1 в шунтуюче коло, як вже зазначалося, становить близько 3 мс. Така часова затримка на вимикання забезпечується елементом затримки часу, що містить конденсатор 14 і резистор 13. Після повного перетікання струму реле струму 3 вимикається і його контакт 5 розмикається, при цьому конденсатор 14 починає заряджатися від напруги на комутуючому конденсаторі 11 через резистор 13 елемента затримки часу. Як тільки конденсатор 14 зарядиться до напруги, що перевищує напругу пробою порогового елемента 17, комутуючий тиристор 10 відкривається. Комутуючий конденсатор 11 через відкритий комутуючий тиристор 10 підмикається у протилежному напрямку (запираючому) для повністю керованого напівпровідникового ключа 4, який внаслідок цього вимикається, і струм у колі навантаження переривається. Обмежувач перенапруг 16 забезпечує допустимий рівень напруги на вході повністю керованого напівпровідникового ключа 4.

Для схеми, що зображена на рис. 2, запираючий струм повинен складати не менше 0,2 від комутуємого струму у головному колі. Таке достатньо велике значення струму забезпечується малою величиною опору обмежуючого резистора 12. Для схеми на рис. 1 такий великий струм для вимикання IGBT-транзистора не потрібен, для цього на ньому треба підтримувати запираючу напругу близько 15 В, що забезпечується в схемі наявністю конденсатора 8 та обмежувача напруги 9.

Для виключення впливу індуктивності навантаження на контактор у схемах застосований оптронний тиристор 15, який шунтує коло навантаження при вимиканні повністю керованого напівпровідникового ключа 4. Застосування оптронного тиристора замість діода, що шунтує навантаження, дозволяє застосовувати пропонування контактор у реверсивних схемах вмикання. Для зниження впливу енергії, що накопичена в індуктивності мережі при перериванні струму навантаження і запобігання виникнення перенапруг на контакторі, у схему введений обмежувач перенапруг 16, який теж спрацьовує при вимиканні повністю керованого напівпровідникового ключа 4.

При вібраціях головного контакту 1 повністю керований напівпровідниковий ключ 4 вмикається аналогічно тому, як це описано для випадку відключення контактора. Однак, конденсатор 14 елемента затримки часу за час відскоку головного контакту не встигає зарядитися до напруги, яка є необхідною для пробою порогового елемента 17, що керує подачею запираючого сигналу на повністю керований напівпровідниковий ключ 4. Таким чином, пристрій примусової комутації при вібраціях головних контактів не працює.

Слід зазначити, що схему на рис. 1 з використанням IGBT-транзистора у якості повністю керованого напівпровідникового ключа доцільно застосовувати при комутації струмів до 500 - 600 А, тобто для контакторів на номінальні струми ( $I_{ном}$ ) до 160 А, через те, що ці прилади, розраховані на більші струми ще не випускаються масово, але якщо випускаються, то мають велику вартість. На відміну від цих приладів двоопераційні тиристори випускаються переважно для роботи у колах з великими струмами ( $I_{ном} > 160$  А), що й визначає область використання схеми на рис. 2. Також, виходячи з того, що у схемі на рис. 1 доцільним є використання електролітичного комутуючого конденсатора з ємністю 1 - 2 мкФ, а в схемі на рис. 2 значно більшої ємності (до 50 мкФ), контактор на рис. 1 слід застосовувати у випадках, коли вирішальну роль відіграють масогабаритні показники контактора.

**Висновки.** Пропонований гібридний двополісний контактор постійного струму має підвищений термін служби та підвищену надійність роботи за рахунок додаткового введення трансформатору струму, який забезпечує заряд комутуючого конденсатору тільки у момент відключення контактору, при цьому напруга, до якої заряджається вказаний конденсатор, знижується зі зменшенням величини струму, що відключається, що забезпечує економічний режим роботи комплектуючих елементів схеми (вони знаходяться під напругою тільки у момент вимикання контактору), а також її спрощення.

Пропонований гібридний двополісний контактор постійного струму забезпечує відсутність зони комутації з дугою як при включенні, так і при вимиканні апарату, його робота не залежить від типу приводу, який забезпечує комутацію контактної системи апарату, тому він може застосовуватися як апарат керування, так і захисту. У порівнянні з існуючими апаратами цього типу за рахунок запропонованих схемних рішень та економного режиму роботи комплектуючих у нього зменшені габарити і вартість та підвищена надійність його роботи. Цей апарат доцільно застосовувати у тяжких режимах експлуатації, наприклад при частих пусках асинхронних двигунів, в умовах підвищених вимог з вибухобезпеки, пожежобезпеки, наприклад в електричному транспорті, є можливість застосовувати цей контактор у реверсивних схемах вмикання.

### Література

1. Сосков А.Г., Соскова И.А. Полупроводниковые аппараты: коммутация, управление, защита. – К.: Каравелла, 2005. – 344 с, с. 40.
2. Пат. 63999 Україна, МПК<sup>11</sup> Н 01 Н 9/00. Гібридний гібридний двополісний контактор постійного струму / А.Г. Сосков, Н.О. Сабалаєва, І.О. Соскова, О.В. Дорохов; заявник та патентовласник Українська інженерно-педагогічна академія. – № u2011 04155; заявл. 06.04.2011; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20.
3. Авторское свидетельство СССР № 526029, кл. Н 01 Н 9/30, Н 03 К 17/56, Н 01 Н 33/59, Б.И. № 31, 1976
4. Пат. 33171 Україна, МПК<sup>8</sup> Н 01 Н 9/30, Н 01 Н 9/54. Гібридний двополісний контактор постійного струму / А.Г. Сосков, Н.О. Сабалаєва, І.О. Соскова; заявник та патентовласник Харківська національна академія міського господарства, Українська інженерно-педагогічна академія. – № u2008 01870; заявл. 13.02.2008; опубл. 10.06.2008, Бюл. №11.

---

## ГИБРИДНЫЙ ДВУХПОЛЮСНЫЙ КОНТАКТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА

А.Г. Сосков, Я.Б. Форкун, Н.О. Сабалаева

*Предложен усовершенствованный гибридный контактор постоянного тока, в котором введение новых конструктивных элементов и связей позволяет обеспечить бездуговую коммутацию цепи при включении и выключении аппарата; позволяет применять его в реверсивных схемах включения, обеспечить отсутствие зоны возможной коммутации с дугой, обеспечить низкие габариты, массу и стоимость контактора, повысит надёжность его работы.*

### DC HYBRID BIPOLAR CONTACTOR

A.G. Soskov, J.B. Forkun, N.O. Sabalaeva

*Proposed DC hybrid bipolar contactor in which introduction of new structural elements and communications allows to provide arcless commutation of circuits at the energization and de-energization of apparatus; allows the use of apply him in the reversible electric circuit, to provide absence of possible commutation with an arc, to provide low sizes, mass and cost of contactor, will promote reliability of his work.*